

졸업논문청구논문

# AVHRR 자료를 이용한 한반도 주변 해역의 해수면 온도 산출

Estimation of Sea Surface Temperature around the  
Korean Peninsula Using AVHRR Data

박 서 진 (□ □ □ Park, Seo Jin)

19039

과학영재학교 경기과학고등학교

2022

# AVHRR 자료를 이용한 한반도 주변 해역의 해수면 온도 산출

## Estimation of Sea Surface Temperature around the Korean Peninsula Using AVHRR Data

### [논문제출 전 체크리스트]

1. 이 논문은 내가 직접 연구하고 작성한 것이다. ☐
2. 인용한 모든 자료(책, 논문, 인터넷자료 등)의 인용표시를 바르게 하였다. ☐
3. 인용한 자료의 표현이나 내용을 왜곡하지 않았다. ☐
4. 정확한 출처제시 없이 다른 사람의 글이나 아이디어를 가져오지 않았다. ☐
5. 논문 작성 중 도표나 데이터를 조작(위조 혹은 변조)하지 않았다. ☐
6. 다른 친구와 같은 내용의 논문을 제출하지 않았다. ☐

# Estimation of Sea Surface Temperature around the Korean Peninsula Using AVHRR Data

Advisor : Teacher Park, Kiehyun

by

19039 Park, Seo Jin

Gyeonggi Science High School for the gifted

A thesis submitted to the Gyeonggi Science High School in partial fulfillment of the requirements for the graduation. The study was conducted in accordance with Code of Research Ethics.\*

2021. 8. 3.

Approved by  
Teacher Park, Kiehyun  
[Thesis Advisor]

\*Declaration of Ethical Conduct in Research: I, as a graduate student of GSHS, hereby declare that I have not committed any acts that may damage the credibility of my research. These include, but are not limited to: falsification, thesis written by someone else, distortion of research findings or plagiarism. I affirm that my thesis contains honest conclusions based on my own careful research under the guidance of my thesis advisor.

# AVHRR 자료를 이용한 한반도 주변 해역의 해수면 온도 산출

박 서 진

위 논문은 과학영재학교 경기과학고등학교 졸업논문으로  
졸업논문심사위원회에서 심사 통과하였음.

2021년 8월 3일

심사위원장 김 학 성 (인)

심사위원 이 호 (인)

심사위원 박 기 현 (인)

# Estimation of Sea Surface Temperature around the Korean Peninsula Using AVHRR Data

## Abstract

Put your abstract here. It is completely consistent with 한글초록.

# AVHRR 자료를 이용한 한반도 주변 해역의 해수면 온도 산출

## 초 록

초록(요약문)은 가장 마지막에 작성한다. 연구한 내용, 즉 본문부터 요약한다. 서론 요약은 하지 않는다. 대개 첫 문장은 연구 주제 (+방법을 핵심적으로 나타낼 수 있는 문구: 실험적으로, 이론적으로, 시뮬레이션을 통해)를 쓴다. 다음으로 연구 방법을 요약한다. 선행 연구들과 구별되는 특징을 중심으로 쓴다. 뚜렷한 특징이 없다면 연구방법은 안써도 상관 없다. 다음으로 연구 결과를 쓴다. 연구 결과는 추론을 담지 않고, 객관적으로 서술한다. 마지막으로 결론을 쓴다. 이 연구를 통해 주장하고자 하는 바를 간략히 쓴다. 요약문 전체에서 연구 결과와 결론이 차지하는 비율이 절반이 넘도록 한다. 읽는 이가 요약문으로부터 얻으려는 정보는 연구 결과와 결론이기 때문이다. 연구 결과만 레포트하는 논문인 경우, 결론을 쓰지 않는 경우도 있다.

# Contents

Abstract . . . . .	i
<b>초록 . . . . .</b>	<b>ii</b>
Contents . . . . .	iii
List of Tables . . . . .	v
List of Figures . . . . .	vi
<b>I 서론 . . . . .</b>	<b>1</b>
I.1 연구의 필요성 및 목적 . . . . .	1
I.2 이론적 배경 . . . . .	2
I.2.1 기상 위성 . . . . .	2
I.2.2 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 위성	3
I.2.3 Terra/Aqua 위성 . . . . .	3
I.3 SST 산출 알고리즘 . . . . .	4
<b>II 연구 방법 및 과정 . . . . .</b>	<b>5</b>
II.1 데이터 파악 및 수집 . . . . .	5
<b>III Equations, Figures, and Tables . . . . .</b>	<b>5</b>
III.1 Equations . . . . .	6
III.2 Figures . . . . .	9
III.3 Tables . . . . .	13
<b>IV Test Section . . . . .</b>	<b>16</b>
IV.1 Test Subsection . . . . .	16
IV.1.1 Test Subsubsection . . . . .	16
<b>V 결론 . . . . .</b>	<b>17</b>

References . . . . .	18
Summary . . . . .	19



# List of Tables

Table 1.	AVHRR 센서의 밴드별 파장 ( <a href="http://www.geo.mtu.edu/rs/avhrr/">http://www.geo.mtu.edu/rs/avhrr/</a> ). . .	3
Table 2.	Subfigure에서 사용할 수 있는 여러 종류의 referencing. . . . .	13
Table 3.	Physical parameters. . . . .	14

# List of Figures

Figure 1.	A linearly damped beat wave. . . . .	11
Figure 2.	a shows A and b shows B. . . . .	13
Figure 3.	TeXstudio 에서 이 파일로 문서편집 하는 모습 . . . . .	15

# I. 서론

## I.1 연구의 필요성 및 목적

복잡하게 구성된 지구의 순환 체계에서 해수면 온도(Sea Surface Temperature, SST)는 빠뜨릴 수 없는 요소이다. 기후에 밀접하게 영향을 주고받는 SST는 몇몇 해역에서 대기에 강제력을 행사하고, 다른 해역에서는 대기에 영향을 받으며 역지력으로서 작용한다. 계절에 따라 해수면온도와 대기가 미치는 영향의 비중이 달라지는 해역도 존재한다. (Wu, R., Kirtman, B.P. Regimes of seasonal air-sea interaction and implications for performance of forced simulations. *Clim Dyn* 29, 393-410 (2007).) SST는 태풍이나 집중호우 등의 위험기상의 발생가능성 또한 해수면온도의 변동성과 연관지어 예측할 수 있는 만큼(정은실, (2019). 한반도에서 위험기상 발생 시 나타나는 해수면온도 변동의 특성. *한국지구과학회지*, 40(3), 240-258.) SST를 관측하고 그 경향성을 파악하는 것은 지구 환경을 이해하는 데에 굉장히 중요하다. 수온을 관측하는 방법으로는 크게 해양 부이를 이용한 관측과 인공위성 자료를 통한 산출법이 있다. 전자의 경우 구름과 같은 오차원인을 배제하고 직접적으로 정확한 데이터를 얻을 수 있다는 장점이 있으나, 부이가 위치하는 한 점의 값만을 얻을 수 있기 때문에 폭넓은 지역의 해수면 온도를 알 수 없다는 단점이 있다. 그와는 반대로 인공위성 자료를 통한 산출법은 대기와 다른 여러 요인들로 인한 오차를 계산해야 하나, 위성으로 관측할 수 있는 광범위한 해역의 정보를 알 수 있다는 것이 장점이다. 해수면 온도 데이터는 처리 정도에 따라 레벨 0, 레벨 1A, 레벨 1B, 레벨 2, 레벨 3, 레벨 4 데이터로 나뉜다. 레벨 0 데이터는 우주선에서 지상으로 전송하는 데 쓰이는 통신 정보만을 제거한 상태의 페이로드 데이터를 의미하며, 레벨 1A 데이터는 시간을 참조하여 레벨 0 데이터를 재구성하고 기하적 보정 등 보조 자료를 주석으로 추가한 상태이다. 레벨 1B 데이터는 그것에서 센서의 특성과 복사량에 대한 보정이 이루어진 결과물로, 이 단계부터는 센서 보정이 변경된다면 다른 데이터로 대체되어야만 한다. 레벨 2 데이터는 이들을

이용하여 지구물리학적으로 의미있는 변수들을 도출하여 SST(Sea Surface Temperature), OC(Ocean Color) 등의 그룹으로 분류한 것이고, 레벨 3 데이터는 그러한 데이터를 일정 기간 동안 일정 구역 집계한 기록이다. 마지막으로 레벨 4 데이터는 하위 레벨 데이터에 대한 분석을 말한다. (Ocean Color Web July 23, 2021) 본 연구에서는 인공위성을 이용한 SST 산출 방식을 채택하여 NOAA 위성의 AVHRR 센서로 관측한 레벨 2 데이터를 레벨 3 데이터로 가공하여 분석하는 것이 목적이다. 선행연구로는 Terra 위성의 MODIS 센서를 이용한 SST (Sea Surface Temperature) 산출 연구 (정주용 외, 2002), 구름 제거 기법과 구름 영향에 따른 신뢰도 부여에 관한 연구 (양성수, 양찬수, 박광순, 2010), TeraScan 시스템에서 NOAA/AVHRR 해수면 온도 산출시 구름 영향에 따른 신뢰도 부여 기법에 관한 연구 등이 있다.

## I.2 이론적 배경

### I.2.1 기상 위성

기상위성이란 지구의 기상현상과 대기를 관측하기 위한 목적의 인공위성들의 분류이며, 우리가 현재 사용하는 기상위성은 궤도에 따라 정지궤도위성과 극궤도위성으로 나뉜다. 정지궤도위성은 적도 상공에 위치해, 약 35,800 km 높이에서 지구와 같은 각속도로 지구 주위를 공전하기 때문에 지상의 관측자가 보았을 때에는 하늘에 고정된 것처럼 느껴지므로 이와 같은 명칭이 붙었다. 정지궤도위성은 지구의  $\frac{1}{4}$  정도 되는 고정된 면적을 관측할 수 있으며 이 때문에 한 지역의 연속적인 기상 상태 변화 등을 관찰하는 데에 있어 유용하다. 극궤도위성은 남극과 북극을 통과하여 지구 주위를 공전하는 위성으로, 고도는 약 800 1,500 km의 궤도를 갖는다. 이는 100분 마다 지구를 한바퀴 공전하여 하루에 전체 지구를 약 2회 관측할 수 있으며, 고도가 기상위성에 비해 낮아 세기가 약한 파장도 인식할 수 있으며, 극지의 얼음, 해양, 에너지의 순환 등 다양한 현상을 관측할 수 있다. (국가기상위성센터 2021년 7월 23일)

Table 1. AVHRR 센서의 밴드별 파장 (<http://www.geo.mtu.edu/rs/avhrr/>).

밴드	중심 파장 (nm)	파장대역폭 (nm)	용도
1	630	580 - 680	반사 에너지 기록
2	865	725 - 1,000	반사 에너지 기록
3	a	1,610	반사 에너지 기록(주간)
	b	3,740	방출되는 에너지 기록(야간)
4	10,800	10,300 - 11,300	열 에너지 기록
5	12,000	11,500 - 12,500	열 에너지 기록

## I.2.2 NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) 위성

미해양대기청(NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration)에서 진행하는 POES(Polar Operational Environmental Satellite)프로젝트의 일부로 NOAA 위성을 운용하고 있다. 하는 , 직하점을 중심으로 55.4° 안쪽의 범위를 주사할 수 있다. 탑재되어 있는 주 관측 센서는 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)와 TOVS(Television InfraRed Observation Satellite Operational Vertical Sounder) 등이 있다. 이 가운데 AVHRR은 5개의 채널을 가졌으며 각각의 파장과 주 용도는 Table 3과 같다.

## I.2.3 Terra/Aqua 위성

1999 년 12 월 18 일 발사되어 다음 년도 2 월 24 일부터 자료를 송신한 Terra (EOS AM-1) 위성은 하루에 한 지점을 2번 관측하는 극궤도위성이다. 지구 환경과 기후의 변화를 관측하는 것이 목표인 이 위성은 ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System), MISR (Multi-angle Imaging SpectroRadiometer), MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer), MOPITT (Measurements of Pollution in the Troposphere) 로 총 6 가지의 센서들을 탑재하였다.

Aqua 위성은 2002 년 5 월 4 일 지표면과 대기 중의 물에 관한 연구를 위하여 발사되었

으며, AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS), MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), AMSU-A (Advanced Microwave Sounding Unit), AIRS (Atmospheric Infrared Sounder), AIRS (Atmospheric Infrared Sounder), HSB (Humidity Sounder for Brazil), CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System)로 총 6 가지 센서들을 탑재하였으나, 그중 AMSR-E와 HSB가 손상되어 작동을 멈추었고, AMSU-A와 CERES는 일부 고장이 발생하였으나 여전히 작동하고 있다. Terra와 Aqua 위성은 Aura 위성과 함께 EOS (Earth Observing System) 의 일부이다.

MODIS(MODerate resolution Imaging Spectrometer)는 Terra와 Aqua 위성의 핵심 탑재체이다. 크기 1.0 m X 1.6 m X 1.0 m, 질량 228.7 kg의 MODIS는 위성에 탑재되어 705 km의 고도에서 55도의 시야각, 2330 km의 관측폭으로 하루 한 번 혹은 두 번 같은 지점을 관측한다. 총 36 개인 각 채널의 해상도는 각각 250 m(채널 1 ~ 2), 500 m(채널 3 ~ 7), 1 km(채널 8 ~ 36)이며 그 중 SST 관측에 쓰이는 것은 약 3.7 ~ 4.1  $\square$ m의 대역폭을 가지고 있는 20, 21, 22, 23 번 채널과 10.8 ~ 12.3  $\square$ m의 31, 32 번 채널이다.

### I.3 SST 산출 알고리즘

## II. 연구 방법 및 과정

### II.1 데이터 파악 및 수집

해양위성센터에서 제공하는 SST 데이터를 다운받을 수 있는 경로를 확인하였다. 접근할 수 있는 데이터는 2020년 4월 29일 기준으로 Table 과 같다.

2012년부터 2019년까지의 8년 동안 Terra/Aqua 위성이 MODIS를 통해 수집한 자료를 연구에 이용하기로 결정하고, Github에서 다운로드한 웹 크롤링 파일을 이용하여 해양위성센터의 SST 데이터를 크롤링하는 table 과 같이 코드를 작성하였다. 2021년 6월 현재는 천리안위성 2호가 서비스를 시작하면서 사이트가 개편되어 데이터 배포 방식이 바뀌었어 아래의 코드가 실행되지 않을 수도 있다.

온라인 원격수업 환경에서 파일을 다운로드받기 위해 Chrome Remote Desktop을 이용하여 개인 노트북을 Ubuntu 운영체제의 서버 컴퓨터와 연결하여 사용할 수 있도록 하였으며, Ubuntu 프롬프트 명령어를 사용하여 파일 디렉토리를 탐색하는 방법을 학습하였다. 오랜 시간 동안 많은 양의 데이터를 다운받아야 하기 때문에 도중에 프롬프트 창을 닫더라도 계속 다운받을 수 있도록 nohup 명령어를 이용하여 백그라운드로 파일을 실행하였다.

## III. Equations, Figures, and Tables

연구 본문은 하위 절(subsection, subsubsection, ...)등이 등장하는 경우가 있다. 이 때는  $\text{W}_{\text{subsection}}\{\text{section name}\}$ ,  $\text{W}_{\text{subsubsection}}\{\text{subsubsection name}\}$ 을 사용하여 하위 절을 구성하면 된다. 여기서는 수식 작성법, 그림 넣는 법, 표 만드는 법에 대해 살펴본다.

### III.1 Equations

먼저 문장 속에서 수식을 사용하는 경우에는 \$ (수식) \$과 같이 처리하면 된다. 다음과 같이 작성한 후 컴파일을 하면

운동 에너지는  $(1/2)mv^2$ 으로 표현된다. 여기서  $m$ 은 물체의 질량,  $v$ 는 물체의 속력이다.

pdf 파일에는 다음과 같이 나타난다.

운동 에너지는  $(1/2)mv^2$ 으로 표현된다. 여기서  $m$ 은 물체의 질량,  $v$ 는 물체의 속력이다.

위의 예시에서 보듯이 문장 속에서 수식을 사용할 때는 한 줄로 입력한다. 즉 분수 형태의 수식은 슬래쉬 '/'로 대체하여 표현한다. 줄 간격을 일정하게 유지하기 위함이다.

다음은 수식이 문장 밖으로 나와 한 줄을 통째로 차지하는 경우이다. 수식을 작성하는 명령어는 다양하지만, 여기서는 equation, align에 대해서만 다룬다. 먼저 equation의 사용법을 예를 통해 확인해보자. 만약 다음과 같이 입력을 하고

```
\begin{equation}
\int_V \nabla \cdot \mathbf{F} dV = \oint_S \mathbf{F} \cdot d\mathbf{A}.
\label{eq001}
\end{equation}
```

컴파일을 하면 다음과 같은 식이 pdf파일에 나타나는 것을 확인할 수 있다.

$$\int_V \nabla \cdot \mathbf{F} dV = \oint_S \mathbf{F} \cdot d\mathbf{A}. \quad (1)$$

문장 속에서 수식의 번호(라벨)을 호출하는 경우가 종종 있다. 이 때는 `\wref{eq001}`을 사용하면 된다. 여기서 eq001은 수식에서 label 명령어 다음에 작성된 문구이다. 수식마다 각기 다른 라벨을 작성해야 하며 논문 저자가 기억하기 편한 것을 사용하면 된다. 서로 다른 수식에 중복된 라벨을 사용하면, 나중에 작성된 라벨의 수식 번호만 호출됨에 유의하라. 사용 예는 다음과 같다.



(작성 예) Divergence 이론은 임의의 벡터 필드  $\mathbf{F}$ 가 임의의 폐곡면 외부로 향하는 플럭스의 총량은  $\nabla \cdot \mathbf{F}$ 를 폐곡면 내부 부피에 대하여 적분한 것과 같다는 것으로 이를 식으로 표현하면 식 (1)과 같다.

(컴파일 결과) Divergence 이론은 임의의 벡터 필드  $\mathbf{F}$ 가 임의의 폐곡면 외부로 향하는 플럭스의 총량은  $\nabla \cdot \mathbf{F}$ 를 폐곡면 내부 부피에 대하여 적분한 것과 같다는 것으로 이를 식으로 표현하면 식 (1)과 같다.

그런데 수식에 번호를 붙일 필요가 없는 경우도 있다. 이 경우에는 수식이 끝나고 equation 명령어를 닫기 전 \nonumber라고 입력하면 된다.

```
\begin{equation}
\pi=3.14159265358979... \nonumber
\end{equation}
```

$$\pi = 3.14159265358979...$$

지금까지 equation 명령어에 대해 살펴보았는데, equation은 한 줄로 표현 가능한 수식에 사용된다. 그런데 수식 중에는 한 줄로 표현하기 너무 길어서 줄바꿈을 해야 할 필요가 있는 경우, 또는 여러 줄에 걸쳐서 계산 과정을 보여줄 필요가 있는 경우가 있다. 이 때 사용되는 대표적인 명령어가 align이다.

```
\begin{align}
\frac{dE}{dt} &= \frac{\partial E}{\partial t} + \sum_i \dot{q}_i \frac{\partial E}{\partial q_i} + \sum_i \ddot{q}_i \frac{\partial E}{\partial \dot{q}_i} \notag \\
&= \sum_j \dot{q}_j \sum_k \left( A_{jk} \dot{q}_k + M_{jk} \ddot{q}_k \right). \\
&\label{eq002}
\end{align}
```

T<sub>E</sub>X 파일에 위와 같이 입력하고 컴파일을 해보면 다음과 같은 식을 얻는다.

$$\begin{aligned}\frac{dE}{dt} &= \frac{\partial E}{\partial t} + \sum_i \dot{q}_i \frac{\partial E}{\partial q_i} + \sum_i \ddot{q}_i \frac{\partial E}{\partial \dot{q}_i} \\ &= \sum_j \dot{q}_j \sum_k (A_{jk} q_k + M_{jk} \dot{q}_k) .\end{aligned}\tag{2}$$

T<sub>E</sub>X 파일에 입력된 등호 앞의 & 기호는 줄 맞춤 표시이다. 즉, 첫 번째 줄의 &와 두 번째 줄의 &가 같은 수직선상에 위치한다는 의미이다. 첫 번째 줄에서는 수식 번호를 넣고 싶지 않아서 W<sub>notag</sub>라는 명령어를 사용하였다. equation 명령어에서 사용된 W<sub>nonumber</sub>와 같은 기능을 한다. 줄을 넘길 때는 WW를 사용한다. 이번에는 줄이 너무 길어서 여러 줄에 나누어 표현하는 식의 예를 살펴보자. (P. H. Yoon의 2006 논문에서 참고하였음 [1])

```
\begin{align}
\delta P_{ij}^a &= \frac{i}{B_0} \frac{\Omega_a}{\omega - \mathbf{k} \cdot \mathbf{v}_a} \left( m_a n \varepsilon_{ikl} v_k^a B_l \delta v_j^a + m_a n \varepsilon_{jkl} v_k^a B_l \delta v_i^a \right. \\
&\quad \left. + \varepsilon_{ikl} \delta B_l P_{jk}^a + \varepsilon_{jkl} \delta B_l P_{ik}^a + \varepsilon_{ikl} B_l \delta P_{jk}^a + \varepsilon_{jkl} B_l \delta P_{ik}^a \right) .
\end{align}
```

위와 같이 작성한 후 컴파일하면 pdf 파일에 다음과 같은 식이 등장한다.

$$\begin{aligned}\delta P_{ij}^a &= \frac{i}{B_0} \frac{\Omega_a}{\omega - \mathbf{k} \cdot \mathbf{v}_a} \left( m_a n \varepsilon_{ikl} v_k^a B_l \delta v_j^a + m_a n \varepsilon_{jkl} v_k^a B_l \delta v_i^a \right. \\ &\quad \left. + \varepsilon_{ikl} \delta B_l P_{jk}^a + \varepsilon_{jkl} \delta B_l P_{ik}^a + \varepsilon_{ikl} B_l \delta P_{jk}^a + \varepsilon_{jkl} B_l \delta P_{ik}^a \right) .\end{aligned}\tag{3}$$

보는 바와 같이 괄호 내부가 너무 길어서 줄바꿈을 했더니 첫 줄에서 괄호가 열리고 다음 줄에서 괄호가 닫힌다. T<sub>E</sub>X에서는 괄호를 연 뒤, 닫지 않고 줄바꿈을 하면 에러가 발생한다. 따라서 첫 줄에서 ‘W<sub>left</sub>’로 괄호를 연 뒤, ‘W<sub>right</sub>.’으로 괄호를 닫았다. 이 표시는 실제로 pdf 파일에는 등장하지 않지만 에러 방지를 위해 넣어준 것이다. 두 번째 줄에서도 마찬가지로 ‘W<sub>left</sub>.’으로 (pdf 파일에는 보이지 않는) 괄호를 연 뒤 ‘W<sub>right</sub>’)으로 괄호를 닫아주었다.

align 명령어는 각 줄마다 수식 번호가 작성 가능하다. 그래서 식 (3)과 같이 하나의 식을 두 줄에 나누어 표현할 때 (첫 번째 줄에는 notag 명령어를 넣어 수식 번호를 제거하고) 두 번째 줄에 수식 번호가 등장하도록 하였다. 그런데 이처럼 하나의 식을 여러 줄에 걸쳐 표현할 때는 수식 번호의 상하 위치가 수식 전체의 중앙에 등장하는 편이 더 보기 좋다. 이 경우에는 equation 명령어 내부에 다시 split 명령어를 사용하면 된다. 다음 식 (4)는 이 방법을 사용한 것이다.

```
\begin{equation}
\begin{split}
\mathcal{D}_{m'm}^{(1/2)}(\alpha,\beta,\gamma)=&\left\langle j=\frac{1}{2},m'\right|\exp\left(\frac{-iJ_z\alpha}{\hbar}\right)\exp\left(\frac{-iJ_y\beta}{\hbar}\right)\exp\left(\frac{-iJ_z\gamma}{\hbar}\right)\left|j=\frac{1}{2},m\right\rangle.
\end{split}
\label{eq004}
\end{equation}
```

$$\mathcal{D}_{m'm}^{(1/2)}(\alpha,\beta,\gamma)=\left\langle j=\frac{1}{2},m'\right|\exp\left(\frac{-iJ_z\alpha}{\hbar}\right)\times\exp\left(\frac{-iJ_y\beta}{\hbar}\right)\exp\left(\frac{-iJ_z\gamma}{\hbar}\right)\left|j=\frac{1}{2},m\right\rangle. \quad (4)$$

TEX에서 입력되는 수식은 기호와 명령어의 명칭 및 사용법을 알아야 작성할 수 있다. 사용법이 잘 정리된 문서들을 인터넷에서 쉽게 구할 수 있으므로 스스로 해결할 수 있을 것으로 생각된다.

## III.2 Figures

논문에 들어가는 그림은 크게 사진과 그래프로 나눌 수 있다. 먼저 사진파일(확장자 jpg, png)을 넣는 방법은 다음과 같다.

```
\begin{figure}[t]
\begin{center}
\includegraphics[width=6cm]{Figure File}
\caption{This is caption}
\label{figure::label}
\end{center}
\end{figure}
```

```

\end{center}
\end{figure}

```

`\begin{figure}` 옆의 `[t]`라는 옵션은 그림을 페이지의 맨 위에 넣는다는 것이다. 옵션의 종류는 `t`, `b`, `h`, `p`가 있다. 각각의 의미는, `t` (그림을 페이지 맨 위에 위치), `b` (그림을 페이지 맨 아래에 위치), `h` (그림을 본문에 작성한 위치에 넣기. 단 충분한 공간이 없는 경우에는 다음 페이지에 들어감), `p` (한 페이지에 그림만 등장함). 논문에 등장하는 그림들은 되도록 페이지 위에 위치할 수 있도록 하자. 즉 `[t]` 옵션을 설정한다. 단, `section title`이 맨 위에 위치하는 경우에는 `[b]` 옵션을 사용하여 그림을 페이지 바닥에 위치시킨다.

`includegraphics`다음의 `[ ]` 안에는 크기를 지정할 수 있는 옵션을 넣어주고 `{ }` 안에는 파일이름(확장자 포함)을 넣어준다. 이때 그림 파일은  $\LaTeX$  파일과 같은 폴더에 들어 있어야 한다. 다음의 `caption`에는 그림 설명을 넣어준다. 마지막으로 `label`에는 수식에서와 마찬가지로 이 그림의 라벨을 지정하여 본문 속에서 `ref` 명령어를 사용하여 그림을 언급하기 편하도록 한다.

이번에는 그래프를 넣는 방법을 알아보자. 그래프는 사진과 약간 차이가 있는데 그것은—엑셀 등 그래프 작성 툴에서 그래프를 그린 후 그래프를 그림파일로 저장할 때, 확장자 `pdf`, `eps` 등 `postscript` 벡터 이미지로 저장을 해야 한다는 것이다. 그 외에는 사진 이미지 삽입과 동일하다. 그림 1은 엑셀에서 작성한 그래프를 `pdf`로 저장한 것과 `png`로 저장한 것을 비교하기 위한 예이다. 위쪽 그림은 `png` 확장자, 아래 그림은 `pdf` 확장자의 파일을 삽입한 것이다. 컴파일 후 생성된 논문 `pdf`파일을 확대한 상태로 그래프를 살펴보면 그 차이를 알 수 있다.

논문에 그림을 넣을 때 주의사항은 다음과 같다.

- 논문에 반드시 필요한 그림인가.
- 남들이 이해하는데 있어서 가장 알맞은 형태로 표현되었는가.
- 캡션과 본문에서의 설명은 충분한가.

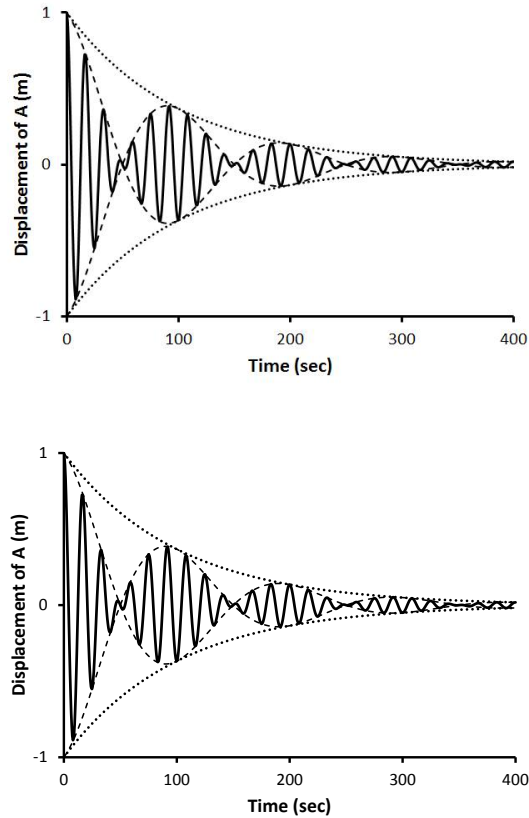


Figure 1. A linearly damped beat wave.

많은 학생들이 연구 과정에서 만들어진 사진들과 그래프들을 선별 과정 없이, 있는대로 다 넣으려는 경향을 보였다. 실험에서 사용한 장치들 사진이나 실험실 사진들을 넣는 경우도 있고, 연구 결과에서 텍스트 없이 그래프들만 나열시킨 경우도 있다. 따라서 십여장 남짓한 본문에서 텍스트가 차지하는 줄 수와 그림이 차지하는 줄 수를 비교하면, 그림의 점유 비율이 월등히 높은 논문들이 많았다. 원칙이 있는 건 아니지만, 글과 그림의 페이지 점유 정도를 비교할 때 글이 차지하는 비중을 높게 하도록 한다. 본인이 작성한 논문에서 그림의 양이 너무 많다면 그림의 양을 줄이고 글의 양을 늘려보자.

먼저 실험 장치 사진을 넣는 경우를 보자. 논문에서 실험 장치 사진을 넣는 것은 i) 장치

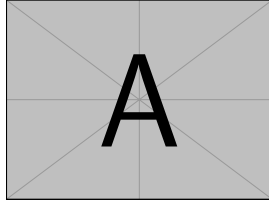
개발 자체가 연구 목적인 경우나 ii) 연구실에서 독자적으로 개발한 장치로 연구를 수행하기에 독자들이 연구 장치에도 호기심을 가질 것으로 판단되는 경우에만 필요한 것으로 굳이 필요한 상황이 아니라면 넣지 않도록 한다. 다만 연구 대상이 되는 물체의 상태 변화를 이해하기 쉽도록 그림으로 나타내는 과정에서 장치의 모식도가 함께 그려지는 경우는 종종 있다.

실험 결과를 충분한 텍스트 없이 그림만 나열하는 경우도 있다. 이 때는 그림들이 반드시 모두 들어가야 하는지 생각해본다. 각각의 그림들에 대해서 그림이 차지하는 공간 이상으로 글로 설명해야 할 내용이 있는지 생각해본다. 만약 여러 그림 중 하나만 대표가 선정되어 설명하게 된다면 나머지 그림들은 논문에서 불필요한 그림들이다. 그러나 모든 그림들을 종합하여 볼 필요가 있으며, 종합된 내용을 글로 설명해야 한다면 그림의 표현 방식이 잘못된 것이다. 이 때는 독자들에게 내용 전달에 있어서 효과적인 그림의 표현 방식이 어떤 것일지 고민을 해야 한다.

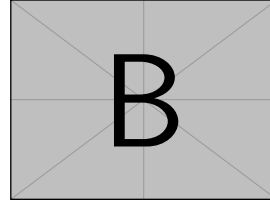
추가 : subfigure를 쓰는 방법에 대해 알아보자.

```
\begin{figure}[h]
\centering
\begin{subfigure}[t]{0.5\linewidth}
\centering\includegraphics[width=100pt]{example-image-a}
\caption{\label{subfig:fig1}}
\end{subfigure}%
\begin{subfigure}[t]{0.5\linewidth}
\centering\includegraphics[width=100pt]{example-image-b}
\caption{\label{subfig:fig2}}
\end{subfigure}
\caption{\subref{subfig:fig1} shows A and~\subref{subfig:fig2} shows B
.}
\label{subfigure_example}
\end{figure}
```

동일한 맥락 상에서 그림이 여러 개일 경우 subfigure를 쓰게 된다. 위의 그림의 경우 ‘A’ 라는 label 이 subfig:fig1, ‘B’라는 그림은 subfig:fig2, 전체 그림은 subfigure\_example 이다. 여기에서 2a, b, 2 등 여러 종류의 referencing을 하고 싶은데, 이는 Table 2 에 나타나



(a)



(b)

Figure 2. (a) shows A and (b) shows B.

있다.

Table 2. Subfigure에서 사용할 수 있는 여러 종류의 referencing.

명령어	결과
<code>\Wref{subfig:fig1}</code>	2a
<code>\Wsubref{subfig:fig1}</code>	a
<code>\Wref{subfigure_example}</code>	2

한 가지 주의해야 할 점은, `\Wsubref{}` 명령어는 여기에서는 (a) 와 같이 나타나지만, 기본 설정으로는 a 와 같이 나타난다는 점이다. `gshs_thesis.cls` 를 사용하지 않는 다른 `tex` 문서에서 (a) 와 같이 나타내고 싶다면 다음과 같은 설정을 추가하면 된다.

```
\Wcaptionsetup{subrefformat=parens}
```

추가 : 그림의 caption 이 길어질 경우, 이것이 List of Figures 에 그대로 실리게 될 경우 길어져서 가독성을 해칠 수 있다. 이럴 때는 다음과 같이 caption 에 List of Figures 에 실리게 될 내용만을 대괄호 안에 같이 적어 주면 된다.

```
\caption[List of Figures 에 실리는 내용]{본문에 실리는 내용}
```

### III.3 Tables

$\text{\LaTeX}$ 에서 표를 넣는 방법은 i)엑셀 등 외부 프로그램에서 작성된 표를 pdf 그림파일로 변환하여 그림처럼 `includegraphics` 명령어로 넣는 방법 (물론 이 경우 `\Wbegin{figure}` 대신 `\Wbegin{table}`를 사용해야 함), ii) $\text{\LaTeX}$ 에서 표를 직접 제작하는 방법의 두 가지가 있다.

LaTeX에서는 명령어에 의해 표의 구획과 정렬, 선의 종류를 표현하므로 초보자에게는 다소 어려운 작업이 될 수 있다. 아마도 LaTeX를 사용함에 있어서 가장 불편한 점은 표 제작 작업일 것이다. 다행히 인터넷에 ‘latex’, ‘table’ 등의 조합으로 검색하면 마우스로 제작한 표를 LaTeX로 변환해주는 웹사이트들을 찾을 수 있다.

다음은 간단한 표의 예이다. 다음과 같이 입력을 하고 컴파일을 하면,

```
\begin{table}[h]
\caption{Physical parameters.} \label{table01}
\begin{center}
\begin{tabular}{c|c|c}
\hline
& symbol & value \\ \hline
Earth's mass &  $M_E$  &  $6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$  \\
Earth's radius &  $R_E$  &  $6.4 \times 10^6 \text{ m}$  \\
Gravitational constant &  $G$  &  $6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 / \text{kg}^2$  \\
\hline
\end{tabular}
\end{center}
\end{table}
```

Table 3과 같은 표를 얻게 된다.

Table 3. Physical parameters.

	symbol	value
Earth's mass	$M_E$	$6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$
Earth's radius	$R_E$	$6.4 \times 10^6 \text{ m}$
Gravitational constant	$G$	$6.67 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 / \text{kg}^2$

또한, figure의 경우 보통 그림 아래에 caption 이 붙지만, table의 경우 caption을 내용 위쪽에 붙여야 한다.

본 양식은 졸업논문 양식의 advanced 버전으로, sub files를 사용한다. TeXstudio에서 사용할 경우 사용하는 모습은 그림 3와 같이, sub file들이 전부 나오고 클릭할 경우 파일이 열린다. TeXworks Editor에서는 상상도 못할 기능...



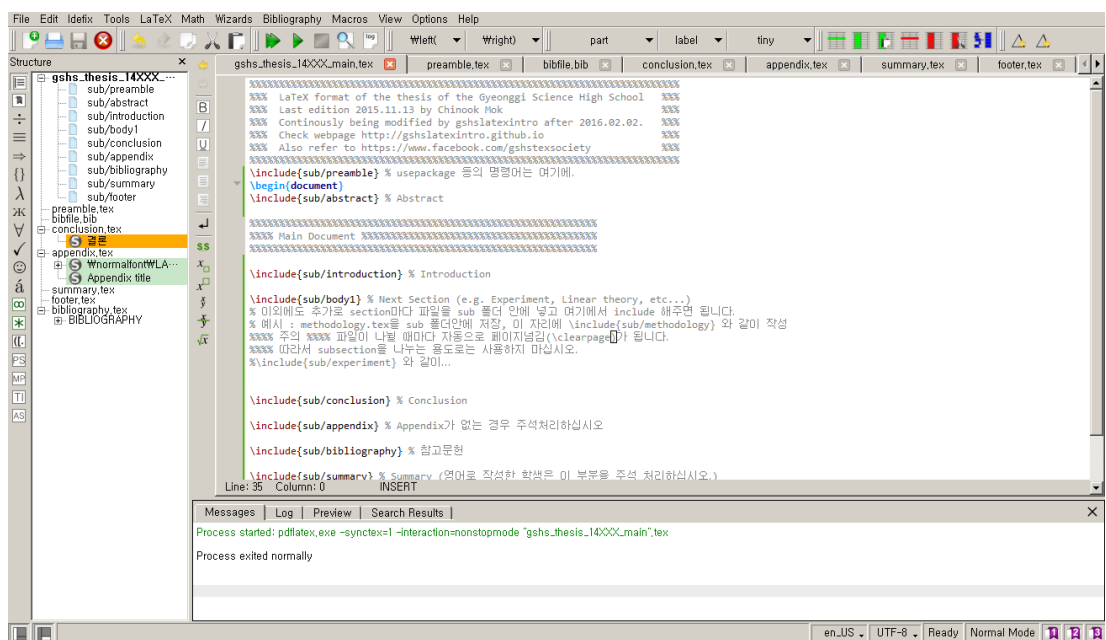


Figure 3. TeXstudio 에서 이 파일로 문서편집 하는 모습

## IV. Test Section

Title : 21pt, bold face.

### IV.1 Test Subsection

Title : 16pt, bold face.

#### IV.1.1 Test Subsubsection

Title : 14pt, normal style.

앞서 언급하였듯이 subsubsection, paragraph 와 같은 하위 절은 사용을 자제하는 것이  
좋다.

Test Paragraph

Title : 12pt, italic style. No numbering.

## V. 결론

글이라는 것은 개인의 개성이 담겨 있기 때문에 모든 사람들이 동일한 방식으로 표현하는 것은 아니다. 그러나 고대로부터 개인의 연구 내용을 글로써 타인에게 전달할 때, 효율적인 방법이라고 공감대를 형성하며 다듬어져 온 것이 지금의 논문 형태이다. 그러므로 처음 논문을 작성하는 학생들은 이 문서에서 지시하는 논문 작성 방식을 따르는 것을 권한다. 하지만 여기서는 다양한 논문들에 대해 일일이 사례를 들어 올바른 논문 작성법을 설명하기에는 한계가 있기에 간략하게만 소개를 했다. 여기서 설명되지 않은 부분들은 다른 사람들의 논문을 참고하자. 이미 서론을 작성하면서 많은 선행 연구 논문들을 읽어 봤을 것이다. 그 논문들에서는 데이터를 어떤 방식으로 표현하는지, 서론은 어떤 흐름으로 구성하는지 등을 살펴보자. 논문을 잘 쓰는 비결의 첫 번째는 논문을 많이 읽어 보는 것이다.

+ 첨언을 하자면, 본교의 영어논문작성법 수업에 사용되는 ‘Science Research Writing for Non-Native Speakers of English’ 를 참고하면 많은 도움이 될 것이다.

# References

- [1] Yoon, P. H., & Lui, A. T. (2006). Quasi-linear theory of anomalous resistivity. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 111(A2).

# Summary

## Estimation of Sea Surface Temperature around the Korean Peninsula Using AVHRR Data

한글로 졸업논문을 작성한 학생은 반드시 5페이지 내외의 영어 요약문을 작성해야 합니다. 영문으로 작성하는 학생은 이 부분을 작성하지 않아도 됩니다.